HAL
open science

F-ORE-T, l'Observatoire de Recherche en Environnement sur le fonctionnement des écosystèmes forestiers

Guy Landmann, Damien Maurice, André Granier, Serge Rambal, Jacques Ranger, Claude Nys, Laurent Saint-André, Eric Dufrêne, Damien Bonal, Denis Loustau, et al.

To cite this version:

Guy Landmann, Damien Maurice, André Granier, Serge Rambal, Jacques Ranger, et al.. F-ORE-T, l'Observatoire de Recherche en Environnement sur le fonctionnement des écosystèmes forestiers. De l'observation des écosystèmes forestiers à l'information sur la forêt, Feb 2005, Paris, France. 13 p. hal-01032065

HAL Id: hal-01032065

https://hal.science/hal-01032065v1

Submitted on 4 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

F-ORE-T, l'Observatoire de recherche en environnement sur le fonctionnement des écosystèmes forestiers

F-ORE-T, the environmental research observatory on the functioning of forest ecosystems

Landmann Guy (1) Maurice Damien (2), Granier André (3), Rambal Serge (4), Ranger Jacques (5), Nys Claude (5), Saint-André Laurent (6), Dufrêne Éric (7), Bonal Damien (8), Loustau Denis (9), Croisé Luc (10)

(1) GIP ECOFOR, 42, rue Scheffer, 75116 Paris, landmann@gip-ecofor.org

(2) GIP ECOFOR / UMR INRA-UHP Ecologie et Ecophysiologie Forestières (EEF), 54280 Champenoux, maurice@gip-ecofor.org

(3) INRA, UMR INRA-UHP Ecologie et Ecophysiologie Forestières (EEF), 54280 Champenoux, granier@nancy.inra.fr

(4) CEFE-CNRS DREAM, 34293 Montpellier Cedex 05, serge.rambal@cefe.cnrs.fr

(5) INRA, Unité Biogéochimie des Ecosystèmes Forestiers (BEF), 54280 Champenoux, ranger@nancy.inra.fr et nys@nancy.inra.fr

(6) CIRAD-PERSYST, UPR Fonctionnement et pilotage des écosystèmes tropicaux plantés, TA 10/D Campus International de Baillarguet, 34398 Montpellier, standre@cirad.fr

(7) Université Paris XI, CNRS, AgroParisTech, UMR Ecologie Systématique et Evolution, 91405 Orsay, eric.dufrene@ese.u-psud.fr

(8) INRA, UMR Ecofog - BP 709, 97387 Kourou cedex, Guyane française, damien.bonal@kourou.cirad.fr

(9) INRA, UMR Unité Ecologie Fonctionnelle et Physique de l'Environnement (EPHYSE), INRA, Domaine de la Grande-Ferrade , BP 81, 33883 Villenave-d'Ornon Cedex denis.loustau@pierroton.inra.fr

(10) ONF Direction technique – Département Recherche et Développement, 77300 Fontainebleau, luc.croise@onf.fr

Résumé

Depuis 2003, l'observatoire de recherche en environnement sur le fonctionnement des écosystèmes forestiers (F-ORE-T) rassemble les huit sites-ateliers français (gérés par l'INRA, le CNRS, et le CIRAD) consacrés à l'étude des cycles des éléments minéraux, du carbone et de l'eau et le réseau RENECOFOR (géré par l'ONF). Cet article présente succinctement l'observatoire, ses objectifs, les principes adoptés pour la collecte, la gestion et la mise à disposition des données, ainsi que l'activité scientifique à laquelle F-ORE-T sert de support.

Mots clés : site-atelier, RENECOFOR, recherche, suivi continu, écosystèmes forestiers, cycles biogéochimiques, eau, éléments minéraux, carbone

Abstract

Since 2003, the Environmental Research Observatory (ORE in French) on forest ecosystem functioning encompasses eight intensive research sites (managed by INRA, CNRS and CIRAD) dedicated to the study of nutrient, carbon and water cycling, and the "Level 2" intensive monitoring network called RENECOFOR. This article briefly describes the Observatory, its main objectives, the principles followed as the collection, the management and the rule for data access, and the scientific activities developed in its frame.

Keywords: intensive research site, RENECOFOR, monitoring, forest ecosystems, biogeochemical cycling, water, nutrients, carbon.

1. Le contexte historique des études sur le fonctionnement des écosystèmes forestiers

1.1. Le rôle de l'épisode « pluies acides »

L'étude du fonctionnement des écosystèmes forestiers a connu une brusque accélération dans les années 1980, alors qu'un dépérissement forestier inédit semblait menacer la forêt européenne. La demande principale portait alors sur l'étude des cycles biogéochimiques, en raison du rôle prêté aux dépôts atmosphériques (« pluies acides ») dans ce dépérissement ainsi que dans l'acidification observée des sols et des cours d'eau. L'existence même d'un problème majeur de santé des arbres a en fait été remise en cause par la suite, mais le rôle important des dépôts atmosphériques dans divers dérèglements (acidification, enrichissement en azote) observés *in situ* a lui été confirmé par les recherches menées dans le cadre du programme interministériel DEFORPA (Landmann et Bonneau, 1995).

1.2. L'apparition de nouvelles problématiques

Au cours des années 1990, les préoccupations croissantes liées au *changement climatique et à l'accroissement du carbone atmosphérique* ont quelque peu relégué à l'arrière-plan les préoccupations liées aux « pluies acides » alors que la recherche européenne se mobilisait pour évaluer la contribution potentielle de la forêt au *stockage de carbone*.

Les études *in situ* visant à analyser le fonctionnement de l'écosystème et à en caractériser les différents composantes et processus se sont multipliées, même si la lourdeur de l'instrumentation et les coûts élevés des ces recherches expliquent que ces observations ne sont conduites que sur quelques dizaines de sites dans toute l'Europe. Le terme de *« sites-ateliers »* utilisé en France pour désigner ces lieux d'observation définit un double caractère d'instrumentation et de rassemblement pluridisciplinaire, avec une ou plusieurs orientations dominantes sur chaque site (fonctionnement minéral, hydrique et carboné). L'INRA, le CNRS et le CIRAD ont développé cette approche sur un petit nombre de sites indépendants, ce qui nécessite une coordination interinstitutionnelle. On peut noter qu'à la même époque, les dispositifs de fumigation *in situ* – FACE (Free-Air Carbon Dioxide Enrichment) – ont été lancés pour étudier les effets de l'enrichissement en CO_2 *in situ*, mais que le développement de cette approche n'a été que limité en raison de son coût très élevé.

1.3. La création de F-ORE-T

Le développement de sites-ateliers dédiés à des recherches fondamentales et appliquées sur le fonctionnement et la dynamique des écosystèmes forestiers, ainsi que sur leur évolution sous l'influence des facteurs naturels et anthropiques représentent un des objectifs de base du Groupement d'intérêt public ECOFOR[1]. C'est donc naturellement qu'ECOFOR a porté en 2002 un projet d'Observatoire de Recherche en Environnement (ORE) dans le domaine forestier en réponse à l'appel d'offres du Ministère de la recherche.

La conception des ORE promue par le Ministère de la recherche peut-être résumée par quelques extraits du texte de l'appel à propositions de recherche paru le 10 janvier 2002. Dans un contexte d'« *emprise croissante de l'homme sur l'environnement* » et au vu de *« l'absence d'analyses adéquates assises sur des données fiables, répétées régulièrement sur les durées longues qui sont imposées par le temps de réaction des systèmes naturels, ou par la fréquence des événements à observer* (…), *M. le Ministre de la Recherche a annoncé le 21 mai 2001 son souhait de renforcer ou créer des Observatoires de Recherche sur l'Environnement (ORE), afin d'assurer cette accumulation d'information dans la durée*. (…) *les ORE doivent remplir prioritairement le rôle de fournisseurs des données scientifiques de qualité nécessaires aux chercheurs afin de comprendre et modéliser le fonctionnement des systèmes et leur dynamique dans le long terme. Leur objectif est d'apporter des réponses à des questions scientifiques touchant à l'Environnement. Ils y contribuent par deux voies complémentaires :*
- d'une part, l'acquisition des données de natures diverses (physiques, chimiques, biologiques) et des chroniques de longue durée nécessaires pour suivre les processus

[1] ECOFOR représente une concrétisation de la Résolution S6 de la première conférence ministérielle sur la protection des forêts en Europe (Strasbourg, 1990) qui prévoyait la création d'un réseau européen de recherche sur les écosystèmes forestiers et la *mise en place de coordinations nationales dans ce domaine.*

environnementaux et écologiques : ce sont là les tâches d'observation environnementale sensu stricto.
- d'autre part, la mise en place d'expérimentations de long terme qui complètent et valorisent les tâches de la simple observation de l'environnement. »

F-ORE-T, l'ORE sur le fonctionnement des écosystèmes forestiers, est constitué (situation en 2005[2]) de 8 sites-ateliers (dont seul le site guyanais ne pré-existait pas à l'ORE) – Hesse (Moselle), Breuil-Chenue (Nièvre), Fougères (Ille-et-Vilaine), Fontainebleau (Seine-et-Marne), Landes (Gironde), Puéchabon (Hérault), Paracou (Guyane) et Pointe-Noire (République du Congo) – et du réseau de suivi intensif RENECOFOR[3].

La fédération de ces sites, engagée avant le lancement du projet F-ORE-T reste une priorité. Un certain niveau d'harmonisation était d'emblée acquis pour les sites dédiés à la mesure de flux de carbone au niveau européen (réseau CARBOEUROPE). Pour sa part, le réseau RENECOFOR s'est inscrit dans un contexte européen harmonisé de suivi continu (« monitoring ») des forêts.

2. Les objectifs de F-ORE-T

2.1. Objectifs scientifiques

L'étude du fonctionnement des écosystèmes forestiers développée dans le cadre de F-ORE-T repose principalement sur l'étude des flux de carbone, d'eau et d'éléments minéraux, dans leurs composantes physico-chimiques et en prenant en compte la réponse des arbres (croissance, phénologie, etc.).

Les objectifs scientifiques peuvent se décliner en trois volets :

- **Comprendre le fonctionnement des écosystèmes forestiers et leur réponse aux perturbations :**
  - identifier les **déterminants** des variations temporelles et spatiales du fonctionnement ;
  - étudier la **sensibilité** des écosystèmes forestiers aux contraintes environnementales et la réponse des écosystèmes forestiers aux évènements climatiques extrêmes.
- **Comprendre, modéliser et coupler les cycles biochimiques** (carbone, eau, éléments minéraux), entre eux et avec le fonctionnement de la plante.
- **Etablir des bilans** pour différentes types forestiers et les comparer à ceux d'autres types de végétation (prairies, cultures) et déterminer ainsi la contribution des écosystèmes étudiés au fonctionnement global de la biosphère.

Les **perturbations** considérées peuvent être naturelles ou anthropiques, s'exercer localement (sylviculture, changement d'usage des terres) ou globalement (réchauffement), relever du court terme (aléa climatique) ou d'une dérive à long terme du climat.

---

[2] Un site supplémentaire, Fontblanche (peuplement mélangé de chênes vert et de pin dAlep) situé dans les Bouches-du-Rhône est prévu.
[3] Le réseau RENECOFOR, constitué d'une centaine de placettes permanentes réparties dans les principaux types de forêts françaises et destinées à cerner l'évolution d'écosystèmes « représentatifs », représente la concrétisation de la Résolution S2 de Strasbourg (1990).

Les **pas de temps** considérés dans les mesures et les modélisations vont ainsi des variations infra-journalières à la révolution forestière (une centaine d'années) alors que les **échelles spatiales** concernées vont du « site » (local) au « paysage ».

L'**intensité de gestion** des écosystèmes étudiés est très variable : nulle en forêt humide guyanaise, variable dans les sites tempérés, très intensive (plantations monoclonales) au Congo.

L'amélioration des bilans obtenus localement et l'analyse des sources de variabilité quand on élargit la zone d'étude représentent les objectifs à court terme. A plus long terme, l'ORE vise à fournir des modèles de flux et bilans à différentes échelles spatio-temporelles et à « généraliser » des résultats locaux à des territoires plus vastes.

2.2. Objectifs opérationnels et méthodologiques

A court terme (5 ans), il s'agit surtout d'améliorer la qualité et la cohérence des données récoltées, ce qui suppose des avancées dans les domaines de l'« assurance qualité », de la gestion et de la mise à disposition des données. Il s'agit en outre de constituer un support pour des travaux d'ordre métrologique, de valider des modèles (échelles interannuelles et plus) et d'offrir un support pour des manipulations expérimentales pour tester des hypothèses spécifiques.

L'ambition à plus long terme (5-25 ans) est de développer un réseau cohérent et évolutif de sites de mesures et d'observation permettant de répondre à ces objectifs, ce qui suppose de les maintenir de l'ordre de 5 ans pour comprendre les processus de base et de l'ordre de 20 ans et plus pour analyser des dérives et prendre en compte les aléas.

2.3. Objectifs finalisés

Ces recherches contribuent également à des objectifs finalisés. Les sites-ateliers dédiés à l'étude des cycles biogéochimiques et le réseau RENECOFOR répondent directement à des questions sur l'impact des modes de gestion sylvicole sur l'évolution des sols et la durabilité des systèmes qui préoccupent les gestionnaires forestiers[4]. L'actuel regain d'intérêt pour l'exploitation de la biomasse forestière à des fins énergétiques renouvelle l'intérêt de l'étude des bilans minéraux.

Plus récemment, et de façon encore incertaine, l'influence de la sylviculture sur la fixation de carbone constitue un sujet d'intérêt croissant chez les gestionnaires forestiers qui souhaitent optimiser et valoriser cette variable dans le contexte de l'atténuation de l'effet de serre et la mise en place du « marché du carbone ».

Un autre objectif, moins évoqué mais très important dans le contexte du réchauffement climatique, est l'impact de la sylviculture sur l'économie de l'eau des peuplements.

Les contributions respectives des sites-ateliers, des placettes RENECOFOR et d'autres approches (réseaux à grande échelle) sont évidemment variables selon les questions.

3. Sites et dispositifs de mesure, variables et paramètres mesurés

[4] C'est ce qui a amené l'ONF à devenir le principal bailleur de fond du site-atelier de Fougères, créé en 1997.

3.1. Sites et dispositifs de mesure

Le dispositif comprend deux niveaux, les sites-ateliers et le réseau RENECOFOR.

Les « sites-ateliers » lourdement instrumentés sont destinés à la description, la quantification et la modélisation du fonctionnement des écosystèmes forestiers. F-ORE-T comprend 6 « sites-ateliers » en France métropolitaine et de 2 en zone intertropicale humide (figure 1, tableau 1). Les sites métropolitains couvrent des conditions pédoclimatiques variées et des types de peuplement représentatifs de la forêt française (feuillus sociaux de plaine, forêts fortement artificialisées et formations méditerranéennes). On note l'absence à l'heure actuelle de sites-ateliers en zone de montagne, ce qui s'explique au moins pour l'approche des flux de carbone par des limitations techniques (la mesure des flux de CO_2 par « eddy correlation » n'est pas opérationnelle en terrain accidenté). Les sites tropicaux correspondent à deux types de peuplement contrastés : la forêt tropicale humide naturelle en Guyane et les plantations industrielles d'Eucalyptus au Congo.

Le réseau RENECOFOR constitue un réseau de « suivi intensif » à long terme de l'évolution des principaux types de peuplements forestiers de France métropolitaine (partie française du réseau européen dit de « niveau 2 » du dispositif de suivi des forêts). Avec une centaine de sites en France métropolitaine, il ne couvre pas de façon statistique la diversité des conditions naturelles des forêts françaises, mais constitue un référentiel précieux qui permet de resituer les sites-ateliers dans un contexte plus large et, dans certains cas, de « généraliser » les résultats obtenus dans les sites-ateliers. Tout un ensemble de paramètres écologiques sont en effet commun à ce réseau et aux sites-ateliers. En outre RENECOFOR apporte une contribution intéressante dans le domaine de la pollution atmosphérique qui fait également l'objet de suivis plus ou moins exploratoires dans les sites-ateliers.

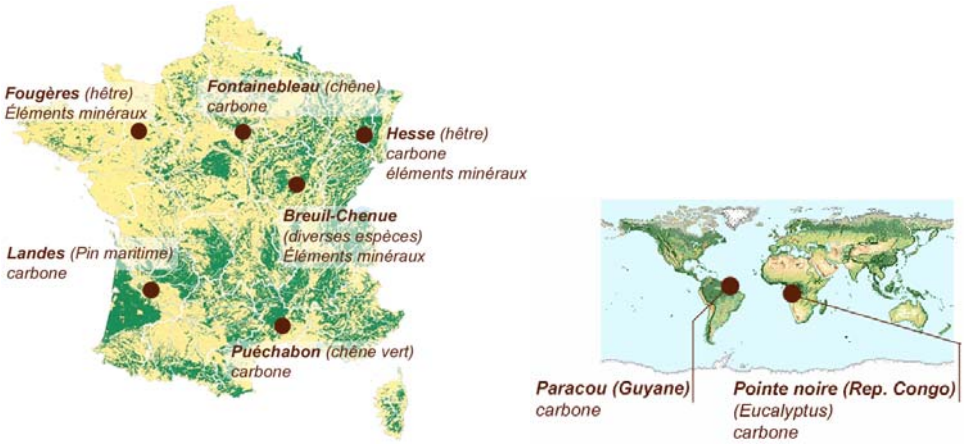

Figure 1 : *localisation des sites-ateliers et mention de l'espèce dominante et de la thématique principale*

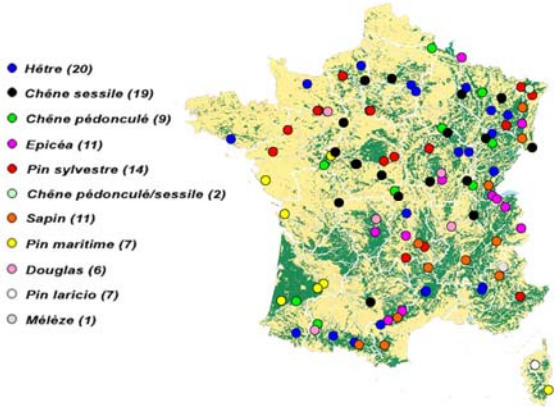

Figure 2 *: localisation des placettes de RENECOFOR selon les essences*

3.2. Les variables relevées

Les principales grandeurs mesurées peuvent être rassemblées en trois catégories de variables qui décrivent :

- l'état du système : composition faunistique (surtout microfaune du sol) et floristique, indice foliaire, teneur des feuilles en éléments chimiques majeurs, litière, biomasse et minéralomasse de la végétation, stock de carbone, réserves minérales du sol, teneur en eau du sol, etc.
- les flux : éléments chimiques et organiques dans le sol et dans l'eau, flux de carbone, d'eau et de chaleur à l'interface couvert-atmosphère ;
- l'environnement : météorologie, composés atmosphériques, apports atmosphériques.

Au total, plus de cent paramètres de base sont mesurés pour décrire ces grandes variables.

Certains paramètres (météorologie, micrométéorologie) sont mesurés en continu avec des centrales d'acquisition automatique, alors que d'autres suivent une fréquence saisonnière tels que les paramètres relatifs à l'indice foliaire. Certaines, enfin, dont l'acquisition est lourde, tels que les paramètres de biomasse et minéralomasse ou l'évaluation des réserves minérales du sol suivent une fréquence de plusieurs années.

Tableau 1. Présentation succincte des éléments de F-ORE-T (sites-ateliers et réseau RENECOFOR)

Dispositif •***thème dominant*** • ***année de***	**Site-atelier de Fontainebleau** •*Carbone et eau* •*1993-1994*	**Site-atelier de Puéchabon** •*carbone et eau* •*1995*	**Sites ateliers des Landes** •*carbone et eau* •*1987/1992/1990*	**Site-atelier de Hesse** •*carbone et eau* •*1996*
• Localisation (région/pays, altitude) • Espèces dominantes • Climat : température (T) et précipitations (P) moyennes annuelles	• forêt domaniale de Fontainebleau, Seine-et-Marne, alt. 120 m • chêne sessile, pin sylvestre, hêtre • T : 10,5°C, P : 720 mm	• forêt domaniale, Hérault, 25 km au NO de Montpellier, alt. 250 m • chêne vert (chêne pubescent < 10%) T : 13,5°C, P : 880 mm	• Gironde, à environ 25 km au SO Bordeaux, alt. 50m • Pin maritime (*Pinus pinaster)* • T : 13,5°C, P : 972 mm	• forêt domaniale de Hesse, Moselle, alt. 300m • hêtre (espèces secondaires : chêne sessiles et pédonculés, charme, bouleau, frêne) • T : 9,2°C, P : 820 mm
• Dispositifs	• une tour à flux instrumentée en forêt de **Barbeau** • un réseau de 52 parcelles de peuplements homogènes, 500 ha au total	• une tour à flux instrumentée dans une chênaie (63 ans en 2005) • un dispositif d'exclusion des pluies	• 2 tours à flux instrumentées, sur le site de **Bray** (35 ans en 2005) et celui de **Bilos** (2 ans en 2004) • dispositif de fertilisation-irrigation à l'**Hermitage** (14 ans en 2005) • ensemble multiparcelles de **Nezer**	• 2 tours à flux instrumentées dans une hêtraie pure (40 ans en 2005, **Hesse 1**) et une hêtraie mélangée d'autres feuillus (19 ans en 2005, **Hesse 2**)
• Mesures	• mesures micrométéorologiques écophysiologiques et dendrométriques ; télédétection (radar et optique, aéroportée et satellitale)	• mesures micrométéoro-logiques écophysiologiques, dendrométriques	• mesures micrométéorologiques, écophysiologiques et dendrométriques • à Nezer, suivi annuel depuis 1985 de structure et LAI pour missions télédétection; mesures de concentrations isotopiques par spectrométrie laser.	• mesures micrométéorologiques, écophysiologiques, dendrométriques et minérales, biomasses, LAI[5], chutes de litière, teneur en eau du sol

Dispositif •***thème dominant*** ***année de création***	**Site-atelier de Fougères** •*éléments minéraux* •*1996*	**Site-atelier de Pointe Noire** •*carbone, eau, élts minéraux* •*1997 puis 2000*	**Site-atelier de Paracou** •*carbone et eau* •*2003*
• Localisation (région/pays, altitude) • Espèces dominan • Climat : température (T) et précipitations (P) moyennes annuelles	• forêt domaniale de Fougères (Ile-et-Vilaine), à 50 km au NO de Rennes, alt. moyenne : 190 m • 85 % de hêtre (espèces secondaires : chêne sessile, chêne pédonculé, épicéa commun) • T : 11,2°C, P : 900 mm	• plantation industrielle sur savane herbacée, Rép. du Congo, alt. moyenne 100 m, rotation : 7 ans • clones de plusieurs familles d'hybride d'eucalyptus • T : 25,5°C, P : 1 200 mm, humidité : 85 %	• forêt tropicale humide non-perturbée, à 50 km de Kourou, zone d'empreinte des flux de 100 ha, petites collines de 40 m de hauteur max • forêt mature, 180 esp. d'arbres différentes par ha • T : 28,3°C, P : 3 000 mm (fortes variations inter-annuelles)
• Dispositifs	• 4 peuplements de 10, 30, 80 et 145 ans (chronoséquence) • coupe après dégâts de tempête • amendement et fertilisation	• une tour à flux instrumentée dans dispositif de **Hinda** puis **Kissoko** • dispositifs d'étude des cycles d'éléments minéraux de **Kondi** puis **Tchizalamou**	• une tour à flux instrumentée (55m)
• Mesures	• récolte et analyse des pluies et pluviolessivats, et solutions du sol • mesures dendrométriques et minérales	• mesures micrométéorologiques, écophysiologiques, dendrométriques et minérales • récolte et analyse des pluies et pluviolessivats, et solutions du sol	• mesures micrométéorologiques, écophysiologiques et dendrométriques

Dispositif •*thème dominant* • *année de création*	**Réseau RENECOFOR** •*éléments minéraux* *1992*	**Site-atelier de Breuil-Chenue** •*éléments minéraux* •*2000*
• Localisation (région/pays, altitude) • Espèces dominan • Climat : température (T) et précipitations (P) moyennes annuelles	• réseau de 102 placettes réparties sur tout le territoire de la France métropolitaine • grande variété d'écosystèmes	• forêt domaniale du Breuil dans le Morvan (Nièvre), alt. moyenne : 650 m • plantations monospécifiques après coupe à blanc : hêtre, chêne sessile, épicéa commun, Douglas, sapin de Nordmann, pin laricio de Corse • T : 6°C, P : 1 400 mm
•Dispositifs	•chaque placette a une surface de 2 hectares avec une partie centrale de 0,5 hectare clôturée	• deux blocs dans les plantations, avec ou sans amendement / fertilisation et témoin forêt initiale • tour de collecte des apports humides
•Mesures	•inventaires dendrométriques, dendrochronologie, analyses foliaires, mesures météorologiques, observations phéno-, entomo- et pathologiques, état des cimes, production de nécromasse, description et analyses de sol, mesure de O_3 et NH_3 dans l'air, observation des symptômes d'O_3, mesure des dépôts atmosphériques hors et sous couvert, analyse des solutions de sol	• récolte et analyse des pluies et pluviolessivats, et solutions du sol • mesures écophysiologiques, dendrométriques et minérales • mesures sur l'évolution des sols • mesures biologiques du sol

[5] LAI : leaf area index, c'est-à-dire l'indice foliaire.

4. Collecte, gestion et mise à disposition des données

Il s'agit d'un aspect central des observatoires de recherche tels qu'ils ont été promus par le Ministère de la recherche en particulier. Ce travail nécessitera, en raison de la complexité des thèmes et variables, un investissement important.

4.1 Protocoles d'acquisition des données et « contrôle qualité »

Sur les sites étudiés, la prise de données concerne les domaines physique, chimique et biologique. Cette obtention de données suit le schéma : *échantillonnage > mesures de base > vérifications / contrôles > construction de données élaborées.*

La démarche d'assurance et de contrôle qualité des données couvre le souci d'homogénéiser et d'uniformiser les différents composantes liées à la qualité, de la stratégie d'échantillonnage jusqu'à la fourniture des données élaborées. Des échanges approfondis sont engagés entre les différents acteurs participant à la production de données (chercheurs, ingénieurs ou techniciens) pour mettre en place cette démarche.

Il est à noter que le contrôle qualité au sein de F-ORE-T est en grande partie assuré par le personnel technique, qui est essentiellement permanent, ce qui est une situation favorable à la continuité des mesures et la surveillance de bonne qualité de l'instrumentation.

4.2 Procédure de gestion et de mise à disposition des données

En raison de la très grande variété de domaines thématiques et de variables, certaines données étant acquises à de hautes fréquence (parfois 20 Hz), les données brutes seront stockées et sauvegardées sous forme de fichiers et seules les données élaborées, pertinentes pour la communauté scientifique, seront intégrées à la base de données, les données brutes restant accessibles en cas de demande particulière. Les données élaborées, gérées grâce à un système de gestion de base de données, constituent le cœur du système d'information adossé à un site web dédié à l'ORE. Son développement se fait en collaboration avec le GIP Médias France (qui développe plusieurs bases de données d'OREs).

Le site Web de l'ORE (http://www.gip-ecofor.org/f-ore-t) constitue la vitrine et le point d'entrée au projet F-ORE-T.

En amont de la base de données à proprement parler, un travail très important de description des données et jeux de données doit être entrepris. Ces *métadonnées* sont abordées selon la distinction suivante :

- *description de jeux de données* : les fichiers de données font l'objet d'une description standardisée qui permet de décrire un jeu de données et de donner un accès vers le jeu de données décrit. Ces informations sont gérées de manière indépendante des données elles-mêmes via une base de données et une interface web dédiées. Elles constituent la base de métadonnées de l'ORE *;*
- *informations connexes à chaque donnée* : il s'agit là d'un ensemble d'informations, obligatoires ou facultatives, qui accompagne chaque valeur de paramètre mesuré ou estimé et qui est intégré dans la base de données de l'ORE.

Par exemple, les listes des paramètres, des unités, des méthodes d'analyses, des types et n° de série des instruments, etc. sont considérés ici comme des métadonnées.

La conception de la *base de données* nécessite plusieurs étapes de « modélisation » (organisation des informations de l'ORE qu'il faut avant tout structurer). Elle a été engagée à partir d'un travail d'inventaire et de documentation des données produites au sein de l'ORE. Sur cette base, plusieurs étapes de modélisation de la base de données ont été menées en s'efforçant de garder un caractère suffisamment générique pour ne pas aboutir à une base trop spécialisée et trop peu évolutive. Des interfaces web dédiées à l'alimentation et à l'extraction viendront compléter, avec les adaptations requises, l'application de la base de données.

Enfin, la *politique de mise à disposition des données* est définie dans une charte de mise à disposition de données. L'extraction des données nécessite un enregistrement préalable du demandeur qui recevra un identifiant et un mot de passe et s'engagera à respecter la charte en signant le formulaire de demande d'accès aux données. L'utilisation de ces données dans une publication, après avis du responsable de l'ORE, devra impérativement mentionner F-ORE-T.

5. Collaborations, production scientifique et technique

5.1 Collaborations scientifiques

Au cours des dernières années, pas moins d'une quarantaine d'équipes (en plus des équipes gestionnaires des sites) ont été associées aux travaux de recherches entrepris sur les sites de recherche : 13 équipes des organismes parties prenantes à F-ORE-T, mais également une dizaine d'équipes universitaires, 6 équipes appartenant à d'autres organismes de recherche (CEA, Cemagref, ENGREF, IRD, Météo France, etc.) et 13 équipes étrangères.

5.2 Production scientifique et technique

Chacun des sites-ateliers et le RENECOFOR constitue un laboratoire *in situ* à part entière qui fournit matière à des publications dans des revues scientifiques de qualité. Au cours des années 2002-2005, les travaux issus de F-ORE-T ont fourni la matière à environ une vingtaine d'articles scientifiques à comité de lecture par an, auxquels s'ajoutent thèses, présentations à des séminaires ou colloques, et supports à caractère technique ou de vulgarisation (voir www.gip-ecofor.org/f-ore-t/).

La proportion d'articles concernant plusieurs sites, qui est encore relativement faible, augmentera progressivement avec le développement de projets de recherche communs et la mise en fonction du système d'information de l'ORE qui facilitera les analyses communes à plusieurs sites. A ce titre, on peut noter que le réseau européen CARBOEUROPE et le réseau Fluxnet, centrés sur les flux d'eau et de carbone, sont à l'origine de nombreux articles collectifs et qu'une bonne partie des articles de F-ORE-T concernant plusieurs sites concernent des sites de ces réseaux. C'est ce type de dynamique qui est visé dans F-ORE-

T ; notre observatoire comporte certes un nombre limité de sites mais sa cohérence et l'importance des analyses de processus conduites sur les sites en feront un outil de potentiel assez rarement égalé dans d'autres régions d'Europe.

Le réseau RENECOFOR apporte une contribution intéressante dans le domaine de la pollution atmosphérique et, de façon générale, une gamme de références biologiques et physicochimiques sur des écosystèmes à laquelle les résultats des sites-ateliers pourront être comparés.

6. Conclusion et perspectives

F-ORE-T rassemble les sites-ateliers forestiers français actuellement consacrés à l'analyse des cycles du carbone, de l'eau et des éléments minéraux. A ce titre, il constitue le réseau français de référence dans ce domaine.

Les organismes parties prenantes y consacrent des moyens significatifs, avec plus d'une trentaine d'équivalent temps plein de personnel permanent (chercheurs, ingénieurs et techniciens) et autant de doctorants, post-doctorants et contractuels. Au soutien financier régulier d'Ecofor viennent s'ajouter des crédits incitatifs (Ministère de la recherche) ou liés à des projets (européens ou français)

L'expression optimale du potentiel de ce réseau passe notamment par la réalisation d'un système d'information performant et par un renforcement progressif des travaux d'intérêt commun.

Le champ thématique des recherches ne devrait pas changer profondément au cours des prochaines années. On peut cependant s'attendre à des inflexions, avec sans doute une attention accrue pour le fonctionnement hydrique dans le contexte du changement climatique, l'étude comparée avec d'autres types de couverts végétaux ou encore le lien entre fonctionnement biogéochimique et biodiversité microbienne.

7. Bibliographie

Landmann G. (coord), 2004. L'observatoire de recherche en environnement sur le fonctionnement des écosystèmes forestiers. F-ORE-T. Rapport 2003. ECOFOR, Paris, 198 p.

Landmann G., Bonneau M. (coord), 1995. Forest decline and atmospheric deposition effects in the French mountains. Springer, 459 p.

Le site F-ORE-T http://www.gip-ecofor.org/f-ore-t) présente la littérature scientifique issue de F-ORE-T.